

新型多端输入光伏并网系统运行控制策略

贾 祺¹, 严干贵¹, 李泳霖¹, 赖柏竹²

(1. 东北电力大学 电气工程学院, 吉林 吉林 132012; 2. 国网浙江省杭州供电公司, 浙江 杭州 310000)

摘要: 提出一种基于双主动全桥(DAB)变换器多光伏阵列并列输入、级联逆变输出的高频隔离型光伏并网系统。分析了 DAB 变换器的功率传输能力, 设计了其移相控制策略; 针对各输入端光伏阵列光照强度不同带来的功率不平衡问题, 基于 dq 解耦控制数学模型, 设计了级联多电平 DC/AC 变换器的调制量补偿控制策略, 实现了各直流端电压的平衡控制。在 PSCAD/EMTDC 中搭建了 4.5 MW/10 kV 光伏并网模型进行仿真, 仿真结果验证了系统结构的可行性以及所提控制策略的有效性。

关键词: 多端输入光伏并网系统; 光伏阵列; DAB 变换器; 级联多电平 DC/AC 变换器; 直流电压平衡

中图分类号: TM 615

文献标识码: A

DOI: 10.16081/j.issn.1006-6047.2017.10.007

0 引言

太阳能资源丰富、可持久续用, 是目前具有大规模商业化开发潜能的可再生能源之一, 许多国家已经进行大规模开发太阳能发电的决策和规划。截至 2015 年底, 我国光伏发电累计装机容量达到 43.18 GW, 约占全球装机容量的 1/5, 超过德国成为全球光伏装机容量最大的国家。随着太阳能资源的持续开发利用, 开展友好型、安全型、灵活型光伏并网系统的研究具有重要的意义。

常见大规模光伏并网系统可分为集中式、组串式、集散式 3 种结构。集中式光伏并网结构^[1-2]是多光伏阵列单元经串并联汇集后经较大容量 DC/AC 逆变器并网, 其优点是结构简单, 但当各阵列单元所处位置光照资源不同时, 集中式结构难以保证各光伏阵列单元均运行于最大功率点跟踪(MPPT)状态, 影响发电效率。组串式光伏并网结构^[3-4]是将集中安装的光伏阵列分割成多个组串, 每个组串经小功率 DC/AC 逆变器并网, 其优点是有利于提高光伏电站的发电量, 但光伏逆变器数量显著增加, 导致光伏电站的投资成本增加。集散式光伏并网结构^[5]的特点是将多台光伏阵列 DC/DC 变换器(实现 MPPT 控制)经直流母线并联后再经一台大功率 DC/AC 逆变器并网, 与集中式结构相比, 其可提高光伏阵列单元的发电效率; 与组串式结构相比, 其大功率 DC/AC 逆变器工作效率高、成本低^[6]。

近年来, 基于级联多电平变换器的多端输入集散式光伏并网系统结构得到广泛关注^[7-12], 该结构直流侧各输入端口可经 DC/DC 变换器对各光伏阵列单元实现 MPPT 控制, 提高太阳能利用率; 逆变侧采用多电平结构, 具有输出电能质量高、模块化程度高、可冗余控制等优点; 但该结构存在各光伏阵列光

照强度不一致而引起的功率不平衡问题, 相内直流电压平衡控制是该结构运行控制亟需解决的问题。

文献[7]提出一种基于模块化多电平换流器(MMC)结构的多端输入光伏并网系统, 在满足逆变器单体容量大、电压等级高的要求外, 有效地减小了对电网的谐波污染; 文中还研究了各光伏阵列工作特性一致时的相内直流电压平衡控制策略。文献[8]在文献[7]的基础上进行改进, 在每个桥臂添加冗余模块, 实现各光伏阵列工作特性不一致时的相内直流电压平衡。文献[9-10]提出一种基于电流前馈型双主动全桥(DAB)变换器的多端输入光伏并网系统, 每相采用单独的 dq 解耦控制策略, 在解决相内直流电压不平衡问题的基础上, 实现有功和无功的解耦控制。文献[11-12]针对相内直流电压平衡问题给出了解决方法, 但未考虑光伏阵列的安全运行。

为此, 本文提出一种基于 DAB 变换器多光伏阵列并列输入、级联逆变输出的高频隔离型集散式光伏并网系统, 其结构特点是: 各光伏阵列单元与级联多电平 DC/AC 变换器之间引入 DAB 变换器, 实现了光伏阵列单元与电网的电气隔离, 保证了各光伏阵列单元均运行于 MPPT 状态。针对各输入端光伏阵列光照强度不同时带来的功率不平衡问题, 设计了级联多电平变换器的调制量补偿控制策略, 实现了各直流端电压的平衡控制。

1 多端输入光伏并网系统架构

本文提出的基于 DAB 变换器的多端输入光伏并网系统如图 1 所示, 其主要由多个光伏阵列、多个 DAB 变换器、多个级联多电平 DC/AC 变换器构成。各 DAB 变换器的低压直流端连接光伏阵列, 高压直流端连接级联多电平 DC/AC 变换器。多端输入结构将大规模集中式光伏阵列分成若干个小光伏阵列, 并对各光伏阵列模块单独进行 MPPT 控制, 可有效提高太阳能利用率。

收稿日期: 2017-02-22; 修回日期: 2017-08-09

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(51277024)

Project supported by the National Natural Science Foundation of China(51277024)

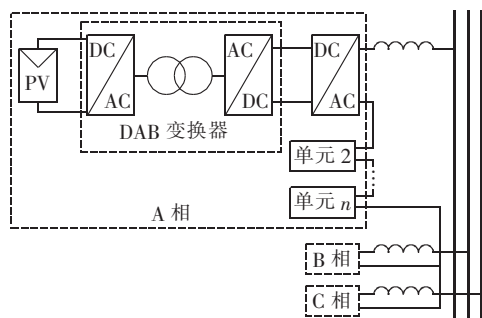


Fig.1 Multi-input grid-connected PV system

图 1 中采用的 DAB 变换器为高频隔离型变换器,开关频率通常在 10 kHz 以上,具有电气隔离、质量轻、噪声小等优点。

以图 1 中 A 相为例,忽略传输功率损耗,只考虑 A 相输出交流电压的基波分量,得到 A 相交流侧各 DC/AC 变换器输出功率为:

$$\begin{cases} P_{PV1} = P_{A1} = U_{A1} I_{A1} \cos \theta_{A1} \\ P_{PV2} = P_{A2} = U_{A2} I_{A2} \cos \theta_{A2} \\ \vdots \\ P_{PVn} = P_{An} = U_{An} I_{An} \cos \theta_{An} \end{cases} \quad (1)$$

其中, $P_{\text{PVi}} (i=1, 2, \dots, n)$ 为各光伏阵列输出功率; P_{Ai} 为 A 相交流侧各 DC/AC 变换器输出功率; U_{Ai} 为各 DC/AC 变换器输出基波交流电压有效值; I_{Ai} 为各 DC/AC 变换器输出电流有效值; θ_{Ai} 为各 DC/AC 变换器输出基波交流电压与输出电流之间的相角; n 为每相中级联 DC/AC 变换器的个数。

对图 1 中多端输入并网系统而言,其交流侧为多个 DC/AC 变换器串联形式,各级联模块在交流侧串联电流相等。同时,由于本文的级联多电平 DC/AC 变换器采用载波移相控制(后续会详述),各 DC/AC 变换器输出基波交流电压与输出电流之间的相角基本相同,且 DAB 变换器高压侧直流电压与各 DC/AC 变换器输出交流电压还满足如下关系:

$$\begin{cases} U_{A1}=M_r U_{dcA1}/\sqrt{2} \\ U_{A2}=M_r U_{dcA2}/\sqrt{2} \\ \vdots \\ U_{An}=M_r U_{dcAn}/\sqrt{2} \end{cases} \quad (2)$$

其中, M_r 为调制波与载波的幅值比, 即调制比; U_{dcAi} ($i=1, 2, \dots, n$) 为各 DAB 变换器高压侧直流电压。

当 A 相中各光伏阵列光照强度一致时,各光伏阵列输出功率相等,各 DC/AC 变换器输出基波交流电压有效值、各直流端电压均相等。当各光伏阵列光照强度不一致时,各光伏阵列输出功率不相等,假设各 DC/AC 变换器的调制比保持不变,由式(1)、(2)可知,各 DC/AC 变换器输出交流电压 U_{Ai} 的值不同,进一步会引起各 DAB 变换器高压端直流电压不平衡以及交流输出电压畸变,影响并网电流质量。因

此,针对相内存在的功率不平衡现象,需要解决直流电压平衡问题。

2 DAB 变换器工作特性分析

DAB 变换器作为多端输入光伏并网系统中的基本单元,拓扑结构如图 2 所示,其主要由 2 个全桥变换器、2 个直流电容 C_1 和 C_2 、1 个辅助电感 L_1 和 1 个高频变压器 T 构成。图 2 中, U_1 和 U_2 分别为 DAB 变换器的低压端直流电压和高压端直流电压; $V_{\text{TS}i}$ 、 $V_{\text{TD}i}(i=1,2,3,4)$ 表示开关管; $V_{\text{DD}i}$ 、 $V_{\text{DM}i}$ 表示二极管。

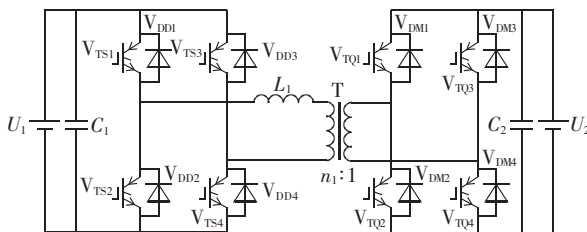


图 2 DAB 变换器拓扑结构

Fig.2 Topology structure of DAB converter

图 3 为 DAB 变换器的工作原理图,本文采用单移相控制^[13-14]。DAB 变换器工作过程中两侧全桥的开关频率相同,对角开关管交替导通,导通角为 180° ,两侧全桥逆变输出电压 u_{h1} 、 u_{h2} 是占空比为 50% 的方波电压。控制方波之间的相角就可控制电感两端电压的大小和相位,进而控制功率的大小和流向。

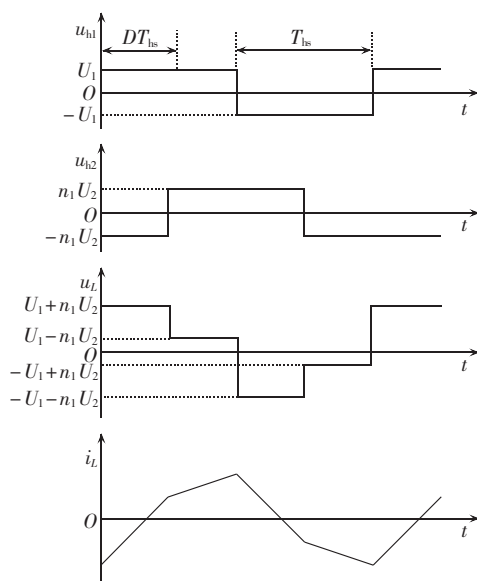


图 3 DAB 变换器工作原理

Fig.3 Operating principle of DAB converter

图 3 中, u_{h1} 和 u_{h2} 为 DAB 变换器两侧全桥变换器的交流端电压; i_L 为全桥变换器交流端电感电流; T_{ts} 为半个周期; D 为移相比。电感电流 i_L 可以表示为:

$$di_L(t)/dt = (u_{b1}(t) - u_{b2}(t))/L \quad (3)$$

稳态情况下,流过电感的平均电流在一个开关周期内为 0,传输功率可以表示为:

$$P_{DAB} = \frac{1}{T_{hs}} \int_0^{T_{hs}} u_{h1} i_L(t) dt = \frac{n_1 U_1 U_2}{2 f_s L} D(1-D) \quad (4)$$

其中, n_1 为变压器变比; f_s 为开关频率。由式(4)可见调节移相比 D 就可调节 DAB 变换器功率流动大小。

本文采用的 DAB 变换器主要实现光伏阵列的 MPPT 控制,对于 MPPT 控制算法,本文采用电导增量法^[15]。由式(4)可知,当变压器变比 n_1 、开关频率 f_s 、电感 L 、高压端直流电压 U_2 已知时,通过改变移相比 D 的取值可求得不同的低压端直流电压 U_1 ,即光伏阵列输出电压。当满足 $dP/dU=0$ 时,即可实现光伏阵列单元的 MPPT 控制。

DAB 变换器控制策略见图 4。图中, i_{PV} 为光伏电流; U_{PV} 为光伏电压,经 MPPT 控制器后产生电压参考值,电压误差经 PI 控制器放大后得到移相角,再经脉宽调制(PWM)产生驱动脉冲送至两侧全桥变换器。

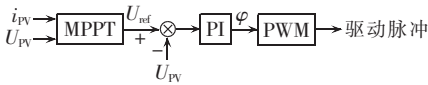


图 4 DAB 变换器控制策略

Fig.4 Control strategy of DAB converter

3 级联多电平 DC/AC 变换器工作特性分析

3.1 级联多电平 DC/AC 变换器工作原理

以单相 DC/AC 变换器为基本单元的级联变换器拓扑结构如图 5 所示(以多端输入光伏并网系统的 A 相为例)。多个完全相同的 DC/AC 变换器交流输出端串联经电感接入电网,在直流端独立的接入 DAB 变换器的高压直流端。图 5 中, U_{dcA1} 、 U_{dcA2} 、 $\dots$ 、 U_{dcAn} 为直流电压; u_{A1} 、 u_{A2} 、 $\dots$ 、 u_{An} 为各 DC/AC 单元交流输出电压; u_{gA} 为电网电压; i_A 为交流端电流(与前文保持一致性); V_{Tij} ($i=1,2,\dots,n; j=1,2,3,4$) 表示开关管, V_{Dij} 表示二极管。

级联多电平 DC/AC 变换器的控制方法通常有载波移相正弦脉宽调制(SPWM)控制、优化 PWM 控制、空间矢量 PWM 控制等。为获得较高的等效开关频率和响应速度,本文采用载波移相 SPWM 控制,相邻 2 个 DC/AC 变换器子单元的载波移相角相差 $2\pi/n$, 相电压输出波形个数为 $2n+1$, 其工作原理图如图 6 所示(图中电压为标幺值)。

级联多电平 DC/AC 变换器可以等效为 2 个工频正弦交流电源 u_{gA} 和 u_A 连接在一个电感两端,通过调节 u_{gA} 和 u_A 之间的相位和幅值,便可以调节其传输功率的大小和方向,其中 u_A 可由式(5)求得。

令图 5 中 u_A 为各级联子单元交流输出电压的基波分量之和,可得:

$$u_A = u_{A1} + u_{A2} + \dots + u_{An} \quad (5)$$

3.2 级联多电平 DC/AC 变换器控制策略设计

将三相多端输入光伏并网结构等效为一个三相

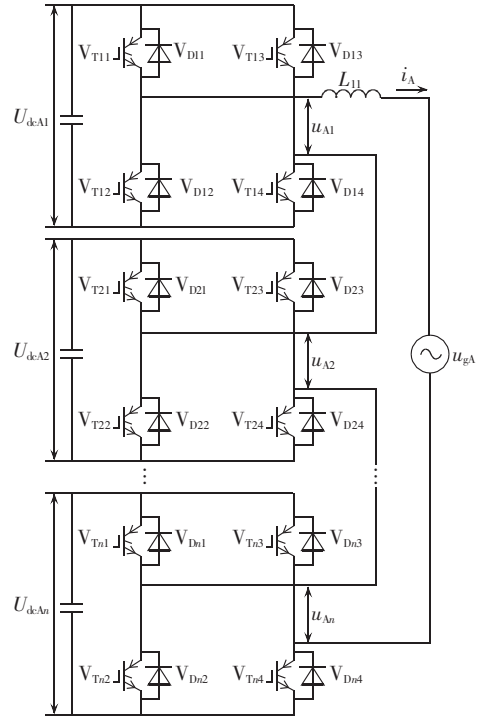


图 5 级联多电平 DC/AC 变换器拓扑结构

Fig.5 Topology structure of cascaded multi-level DC/AC converter

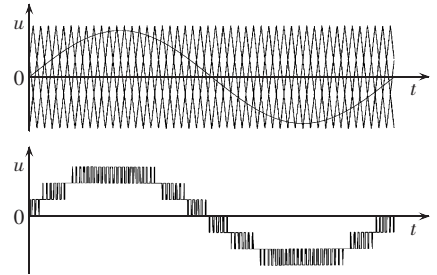


图 6 级联多电平 DC/AC 变换器工作原理

Fig.6 Operating principle of cascaded multi-level DC/AC converter

逆变器,列写该系统的微分方程,有:

$$\begin{cases} L di_A/dt = u_A - u_{gA} \\ L di_B/dt = u_B - u_{gB} \\ L di_C/dt = u_C - u_{gC} \end{cases} \quad (6)$$

其中, i_A 、 i_B 、 i_C 为三相并网电流; u_{gA} 、 u_{gB} 、 u_{gC} 为三相电网相电压; u_A 、 u_B 、 u_C 为各相级联多电平变换器输出电压,可由式(7)求得。

$$u_k = S_{k1} U_{dcA1} + S_{k2} U_{dcA2} + \dots + S_{kn} U_{dcAn} = S_{k1} n U_{dcavg} \quad (7)$$

其中, S_k ($k=A, B, C$) 为开关函数,可以取值 1、0、-1; U_{dcavg} 为各 DAB 变换器高压端直流电压平均值,可由式(8)求得。

$$U_{dcavg} = \left(\sum_{i=1}^n U_{dcAi} + \sum_{i=1}^n U_{dcBi} + \sum_{i=1}^n U_{dcCi} \right) / (3n) \quad (8)$$

其中, U_{dcAi} 、 U_{dcBi} 、 U_{dcCi} 为各 DAB 变换器高压端电压。

将式(6)进行 dq 解耦,得到:

$$\begin{cases} L di_d/dt = \omega Li_q + d_q n U_{dcavg} - U_{gd} \\ L di_q/dt = -\omega Li_d + d_q n U_{dcavg} - U_{gq} \end{cases} \quad (9)$$

假设每相中有 3 个 DC/AC 变换器,得到级联多电平 DC/AC 变换器 dq 解耦控制策略如图 7 所示。图 7 中, i_{dref} 、 i_{qref} 分别为参考电流的 d 轴和 q 轴分量; u_{Ai} 、 u_{Bi} 、 u_{Ci} ($i=1,2,3$) 为各相级联多电平单元中各 DC/AC 变换器的正弦调制量。

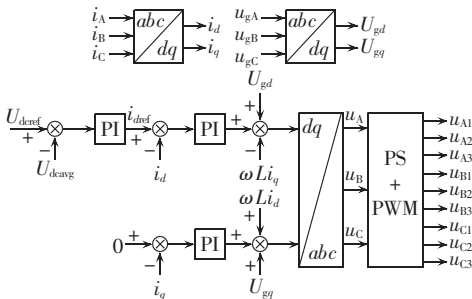


图 7 级联多电平 DC/AC 变换器 dq 解耦控制策略

Fig.7 dq decoupling control strategy of cascaded multi-level DC/AC converter

直流电压误差信号经过 PI 控制器放大后产生 d 轴参考电流,由于本文采用单位功率因数运行, q 轴参考电流设为 0。 dq 轴电流误差信号经过 PI 控制器放大,并解耦后产生 dq 轴的调制量,进一步通过载波移相得到各个 DC/AC 变换器的调制量。各调制量与三角载波进行比较,产生开关管的驱动脉冲。

对于每相中存在的直流电压平衡问题,本文采用级联多电平变换器的调制量补偿控制策略,见图 8。由于每相光伏并网结构中,交流侧为串联结构,各 DC/AC 变换器输出的电流相等,在保证直流电压平衡的同时,需满足各 DC/AC 变换器输出功率不等的约束,由式(2)可知,若保证直流电压平衡,则需改变各 DC/AC 变换器的调制比。因此,将各相级联多电平单元中的各个直流侧电压与 U_{dcavg} 的误差信号经 PI 控制器后对各个直流侧电压进行补偿叠加,进而求得新的调制量 u_{Ai1} 、 u_{Bi1} 、 u_{Ci1} ,保证各光伏阵列输出功率不同时,各 DAB 变换器高压端直流电压平衡。

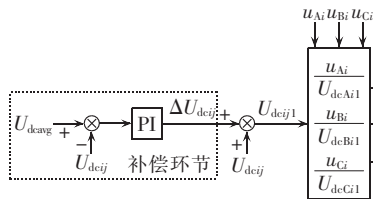


图 8 级联多电平 DC/AC 调制量补偿控制策略

Fig.8 Modulation compensation control strategy of cascaded multi-level DC/AC converter

4 仿真算例验证

4.1 系统主要参数

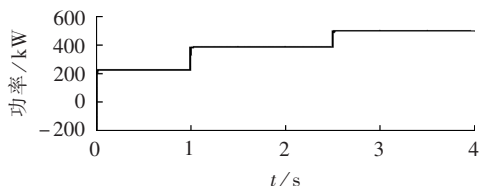
为了验证本文提出的多端输入光伏并网系统结构的可行性、控制策略的有效性,在 PSCAD/EMTDC 中搭建仿真模型。系统参数如下:单个光伏阵列额定输出功率 P 为 500 kW,交流电网电压有效值 U_g 为

10 kV,DAB 变换器高压端直流电压 U_{dc} 为 3 kV,DAB 变换器开关频率 f_s 为 10 kHz,高频变压器变比为 1:5,DAB 变换器辅助串联电感 L 为 5.76 μ H,DAB 变换器单元直流电容 C 为 5000 μ F,每相 DAB 变换器单元个数为 3,每相级联单元中 DC/AC 变换器个数为 3。

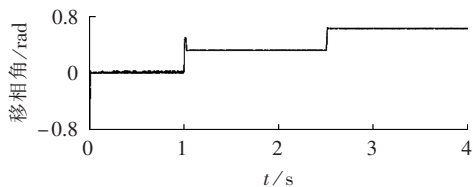
4.2 仿真分析

4.2.1 光伏阵列 MPPT 仿真分析

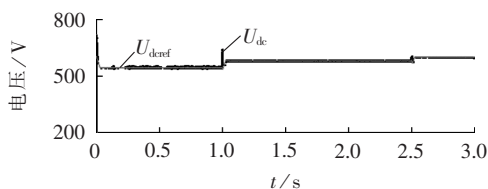
在 0~1 s、1~2.5 s 和 2.5~4 s 时段,分别设置光照强度为 400、600、1000 W/m²。单个光伏阵列在不同光照强度下的输出功率如图 9(a)所示;光伏阵列输出功率不同时对应的 DAB 变换器的移相角如图 9(b)所示;光伏阵列不同光照强度下 MPPT 控制器输出的直流电压参考值与实际光伏阵列输出的直流电压如图 9(c)所示;DAB 变换器在某一光照强度下的工作情况如图 9(d)所示,两侧全桥交流输出电压 u_{h11} 和 u_{h12} 均为方波,彼此间移开角度,并且 u_{h11} 超前 u_{h12} ,功率由低压侧流向高压侧,原边电感电流 i_{L1} 为近似于梯形波的高频交流。



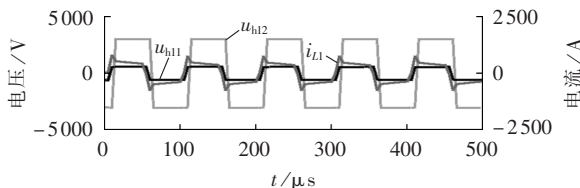
(a) 不同光照强度下光伏阵列输出功率



(b) 不同光照强度下 DAB 变换器移相角



(c) 不同光照强度下 MPPT 输出参考电压与光伏阵列输出电压



(d) 某一光照强度下 DAB 变换器工作波形

图 9 不同光照强度下光伏阵列运行曲线

Fig.9 Operation waveforms of PV array under different illumination intensities

4.2.2 直流电压平衡控制仿真分析

当每相中各个光伏阵列的光照强度均为额定光照强度,各相输出功率相同时,多端输入系统工作波

形如图 10 所示。图 10(a)为多电平逆变器各直流端电压,基本稳定在 3000 V,图 10(b)为交流侧三相输出电压,输出电压为 7 电平波。

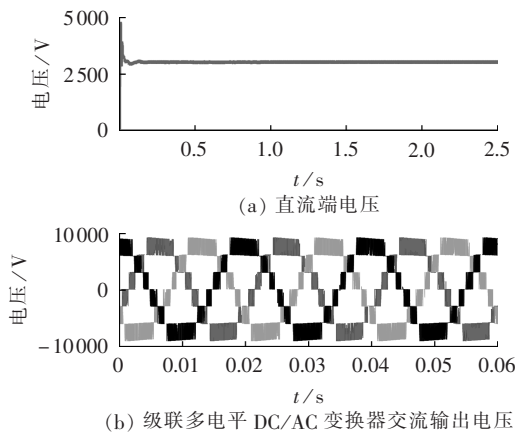


图 10 额定光照强度下多端输入系统运行曲线
Fig.10 Operation waveforms of multi-input system under rated illumination intensity

以 A 相为例,当 A 相中各光伏阵列单元输出功率分别为 500 kW、465 kW、435 kW 时,多电平 DC/AC 变换器各直流端电压、调制量、输出功率如图 11 所示。系统 1 s 前不采用补偿控制策略时,A 相中各 DC/AC 变换器的调制量保持相等,各直流端电压随各光伏阵列单元输出功率不同而不一致;1 s 后采用补偿控制策略,通过对各 DC/AC 交换器的调制量进行补偿,可以平衡各直流端电压,且满足各 DC/AC 变换器输出功率不等的约束,与理论分析具有一致性。

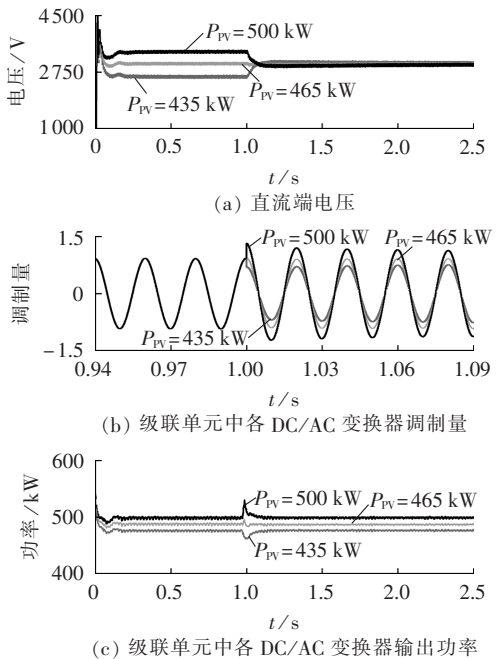


图 11 A 相级联多电平 DC/AC 变换器运行曲线
Fig.11 Operation waveforms of phase-A cascade multi-level DC/AC converter

当 A 相中各光伏阵列单元输出功率分别为 450 kW、330 kW、390 kW 时,采用补偿控制策略时工作

波形如图 12 所示。从图 12 同样可以看出,通过级联多电平变换器的调制量补偿控制策略对各 DC/AC 变换器的调制量进行补偿,可以平衡各直流端电压。

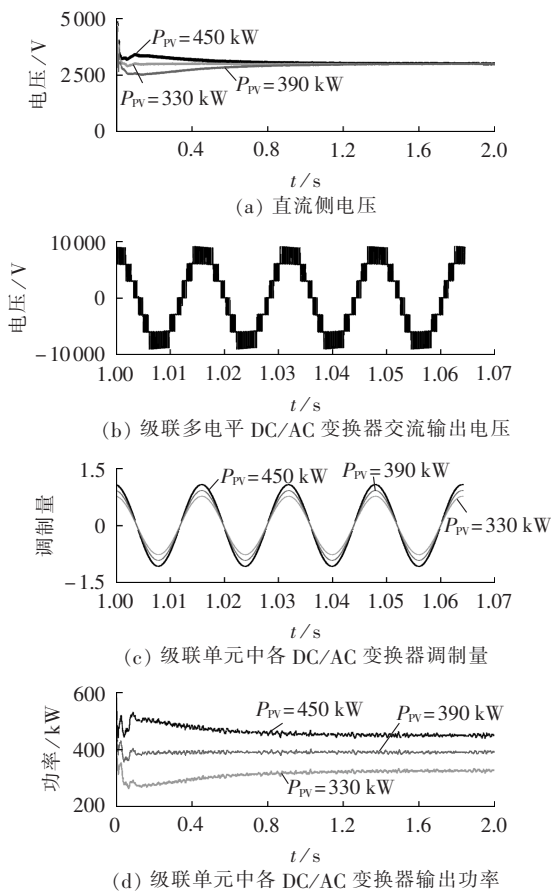


图 12 补偿控制策略下 A 相级联多电平 DC/AC 变换器运行曲线
Fig.12 Operation waveforms of phase-A cascade multi-level DC/AC converter under compensation control strategy

5 结论

本文提出一种基于 DAB 变换器的多端输入光伏并网系统,在各光伏阵列与级联多电平 DC/AC 变换器间引入 DAB 变换器,不仅实现了光伏阵列单元的 MPPT 控制,也实现了电气隔离,保证各光伏阵列的安全运行。针对各输入端光伏阵列工作特性不同带来的功率不平衡问题,设计级联多电平变换器的调制量补偿控制策略,实现了各直流端电压平衡控制。

参考文献:

[1] 谢宁,罗安,马伏军,等. 大型光伏电站与电网谐波交互影响[J]. 中国电机工程学报,2013,33(34):9-16.
XIE Ning,LUO An,MA Fujun,et al. Harmonic interaction between large-scale photovoltaic power stations and grid[J]. Proceedings of the CSEE,2013,33(34):9-16.
[2] 谢宁,罗安,陈燕东,等. 大型光伏电站动态建模及谐波特性分析[J]. 中国电机工程学报,2013,33(36):10-17.
XIE Ning,LUO An,CHEN Yandong,et al. Dynamic modeling

- and characteristic analysis on harmonics of photovoltaic power stations[J]. Proceedings of the CSEE, 2013, 33(36): 10-17.
- [3] 王淑超,段胜朋,候炜,等. 光伏电站分层分布式自动功率控制技术[J]. 电力系统自动化, 2016, 40(8): 126-132.
- WANG Shuchao, DUAN Shengpeng, HOU Wei, et al. Hierarchical distributed control structure based AGC technology for photovoltaic power plants[J]. Automation of Electric Power Systems, 2016, 40(8): 126-132.
- [4] 余畅舟,张兴,刘芳,等. 组串式 LC 型光伏逆变器并网谐波环流及其抑制策略分析[J]. 电力系统自动化, 2016, 40(13): 77-84.
- YU Changzhou, ZHANG Xing, LIU Fang, et al. Harmonic circulating current analysis and reduction methods for LC-filter type string inverters in photovoltaic power systems[J]. Automation of Electric Power Systems, 2016, 40(13): 77-84.
- [5] 张犁,孙凯,吴田进,等. 基于光伏发电的直流微电网能量变换与管理[J]. 电工技术学报, 2013, 28(2): 248-254.
- ZHANG Li, SUN Kai, WU Tianjin, et al. Energy conversion and management for DC microgrid based on photovoltaic generation[J]. Transactions of China Electrotechnical Society, 2013, 28(2): 248-254.
- [6] 高峰. 光伏并网系统的优化设计与协调控制技术展望[J]. 南方电网技术, 2016, 10(3): 91-97.
- GAO Feng. Energy conversion and prospects of optimal design and coordinative control technology of grid connected photovoltaic power generation systems[J]. Southern Power System Technology, 2016, 10(3): 91-97.
- [7] 姚致清,于飞,赵倩,等. 基于模块化多电平换流器的大型光伏并网系统仿真研究[J]. 中国电机工程学报, 2013, 33(36): 27-33.
- YAO Zhiqing, YU Fei, ZHAO Qian, et al. Simulation research on large-scale PV grid-connected systems based on MMC[J]. Proceedings of the CSEE, 2013, 33(36): 27-33.
- [8] 荣飞,刘诚,黄守道. 一种新型模块化多电平光伏并网系统[J]. 中国电机工程学报, 2015, 35(23): 5976-5984.
- RONG Fei, LIU Cheng, HUANG Shoudao. A novel grid-connected PV system based on MMC[J]. Proceedings of the CSEE, 2015, 35(23): 5976-5984.
- [9] LIU Liming, LI Hui, XUE Yaosuo, et al. Decoupled active and reactive power control for large-scale grid-connected photovoltaic systems using cascaded modular multilevel converters[J]. IEEE Transactions on Power Electronics, 2015, 30(1): 176-187.
- [10] LIU Liming, LI Hui, XUE Yaosuo, et al. Reactive power compensation and optimization strategy for grid-interactive cascaded photovoltaic systems[J]. IEEE Transactions on Power Electronics, 2015, 30(1): 188-202.
- [11] SAMIR K, BIN W, ALVARO M, et al. Control of a cascaded H-bridge multilevel converter for grid connection of photovoltaic systems[C]//35th Annual Conference of IEEE Industrial Electronics. Porto, Portugal: IEEE, 2009: 3976-3982.
- [12] ELENA V, PABLO C, JOSE R, et al. Control of a single-phase cascaded H-bridge multilevel inverter for grid-connected photovoltaic systems[J]. IEEE Transactions on Industrial Electronics, 2009, 56(11): 4399-4406.
- [13] ZHAO Biao, SONG Qiang, LIU Wenhua. Dead-time effect of the high-frequency isolated bidirectional full-bridge DC-DC converter: comprehensive theoretical analysis and experimental verification[J]. IEEE Transaction on Industrial Electronics, 2014, 29(4): 1667-1680.
- [14] ZHAO Biao, SONG Qiang, LIU Wenhua. A practical solution of high-frequency-link bidirectional solid state transformer based on advanced components in hybrid micro-grid[J]. IEEE Transactions on Industrial Electronics, 2015, 62(7): 4587-4597.
- [15] 汤济泽,王丛岭,房学法. 一种基于电导增量法的 MPPT 实现策略[J]. 电力电子技术, 2011, 45(4): 73-75.
- TANG Jize, WANG Congling, FANG Xuefa. MPPT implementation strategy based on the conductance increment method[J]. Power Electronics, 2011, 45(4): 73-75.

作者简介:



贾 祺

贾 祺(1991—),男,吉林松原人,博士研究生,通信作者,主要研究方向为新能源并网发电运行控制(E-mail: 15948692960@163.com);

严千贵(1971—),男,江西鹰潭人,教授,博士,主要研究方向为新能源并网发电运行控制;

李泳霖(1993—),男,山东菏泽人,硕士研究生,主要研究方向为新能源并网发电运行控制;

赖柏竹(1991—),男,浙江金华人,硕士,主要研究方向为电力系统稳定性分析。

Operation control strategy of novel multi-input grid-connected PV system

JIA Qi¹, YAN Gangui¹, LI Yonglin¹, LAI Baizhu²

(1. School of Electrical Engineering, Northeast Dianli University, Jilin 132012, China;

2. Hangzhou Power Supply Company of State Grid Zhejiang Electric Power Company, Hangzhou 310000, China)

Abstract: A high frequency isolated grid-connected PV system based on DAB(Dual Active Bridge) converter is proposed, with paralleled inputs and cascaded inverter outputs of multi PV arrays. The power transmission ability of DAB converter is analyzed and its phase-shifting control strategy is designed. Aiming at the power imbalance caused by different illumination intensities on the input-side of PV arrays, the modulation compensation control strategy for cascaded multi-level DC/AC converter is established based on the mathematical model of dq decoupling control, realizing the voltage balance control of DC sides. The model of a 4.5 MW/10 kV grid-connected PV system is built with PSCAD/EMTDC, whose simulative results verify the feasibility of the system structure and the effectiveness of the proposed control strategy.

Key words: multi-input grid-connected PV system; PV array; DAB converter; cascaded multi-level DC/AC converter; DC voltage balance